

Sonnen- und Himmelsstrahlung auf dem Jungraujoch während des internationalen Polarjahres 1932/33

Autor(en): **Chorus, Ulrich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **12 (1939)**

Heft VI

PDF erstellt am: **17.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-110953>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Sonnen- und Himmelsstrahlung auf dem Jungfrauojoch während des internationalen Polarjahres 1932/33

von Ulrich Chorus.

(Aus der Hochalpinen Forschungsstation Jungfrauojoch
und dem Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos.)

(26. IX. 39)*).

Zusammenfassung: Es werden Ergebnisse von Registrierungen der von Sonne und Himmel auf die Horizontalfläche fallenden Wärme- und Helligkeitsstrahlung, die während des internationalen Polarjahres 1932/33 gewonnen wurden, diskutiert, ausserdem auch die gleichzeitigen Verhältnisse der Himmelsstrahlung und der Sonnenscheindauer kurz erörtert. Neben den statistischen Ergebnissen werden die Beziehungen zwischen den Strahlungswerten einerseits und der Wolkenbedeckung und der Wolkenart andererseits untersucht.

Instrumente und deren Aufstellung.

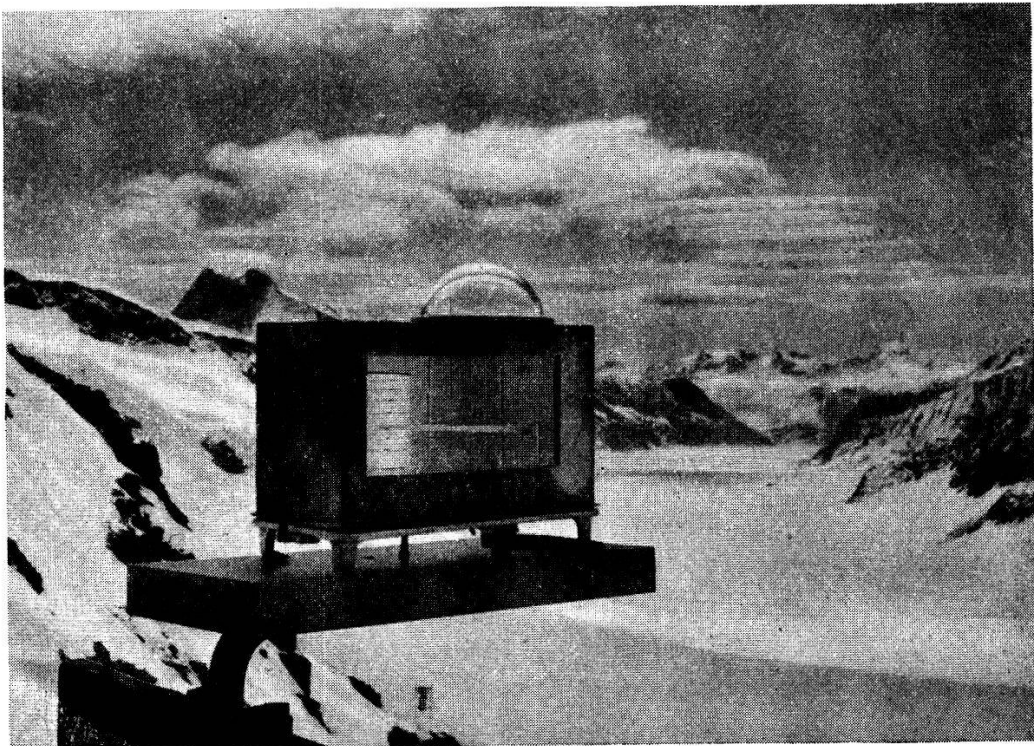
Während des internationalen Polarjahres 1932/33 wurden neben den Beobachtungen der meteorologischen Elemente wie Sonnenschein, Wind, Luftdruck und Feuchtigkeit auch Registrierungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung auf dem Jungfrauojoch angestellt. Verwendet wurden ein Solarimeter von GORCZYNSKI¹⁾ in der Ausführung der Firma KIPP & ZONEN in Delft (Holland) und zur Unterstützung und zur Ausfüllung etwaiger nichtregistrierter Tage ein Aktinograph nach ROBITZSCH²⁾. Beide Instrumente waren auf der oberen Plattform des Turmes der Forschungsstation Jungfrauojoch aufgestellt. Diese Terrasse ist direkt nach Süden orientiert und hat eine Höhe von 3472 m über dem Meeresspiegel. Die geographischen Koordinaten sind: $\varphi = 46^\circ 32'$, $\lambda = 7^\circ 58'$ östl. G. Zur weiteren Veranschaulichung der Aufstellung und ihrer Umgebung mag Fig. 1 dienen. Da die Einstrahlungsmenge wesentlich von der Form des Horizontes abhängig ist, der stellenweise die Sonnenstrahlung dem Instrumente fernhält, so sei in Fig. 2 dieser Horizontverlauf dargestellt, wie er mittels eines Theodoliten aufgenommen wurde.

Die Montierung des Solarimeters geschah auf einem Gasrohr, das in seinem Innern das Kabel aufnahm, ein Verschluss mit Kabelvergussmasse sorgte für wasserdichten Abschluss nach aussen.

*) Die Arbeit wurde schon vor sehr langer Zeit eingesandt, konnte aber, besonderer Umstände halber, erst jetzt aufgenommen werden.



Sonnenscheinautograph u. Solarimeter mit Schirm zum Abblenden der Sonne.



Aktinograph Robitzsch.

Fig. 1.

Aufstellung der Registrierinstrumente.

Als Leitung wurde ein Bleimantelkabel mit zwei Kupferadern verwendet, der Querschnitt der Leitung betrug 2 mm^2 , sodass Temperatureinflüsse möglichst ausgeschaltet blieben. Die Abdichtung des Solarimeters selbst war von der Firma KIPP & ZONEN vorgenommen worden. Sie hat sich sehr gut bewährt; ein Eindringen von Feuchtigkeit und damit verbundene Kondensationserscheinungen innerhalb der Glasglocke sind nie aufgetreten. Ausfälle der Registrierung kamen nur vor bei Unterbrechung der Lichtleitung (Registrierlämpchen) oder mangelnder Belichtung, wenn die nötige Spannung fehlte. Auch wurde einige Male vergessen, die Lichtklappe des Kastens, der die Beförderung des Registrier-

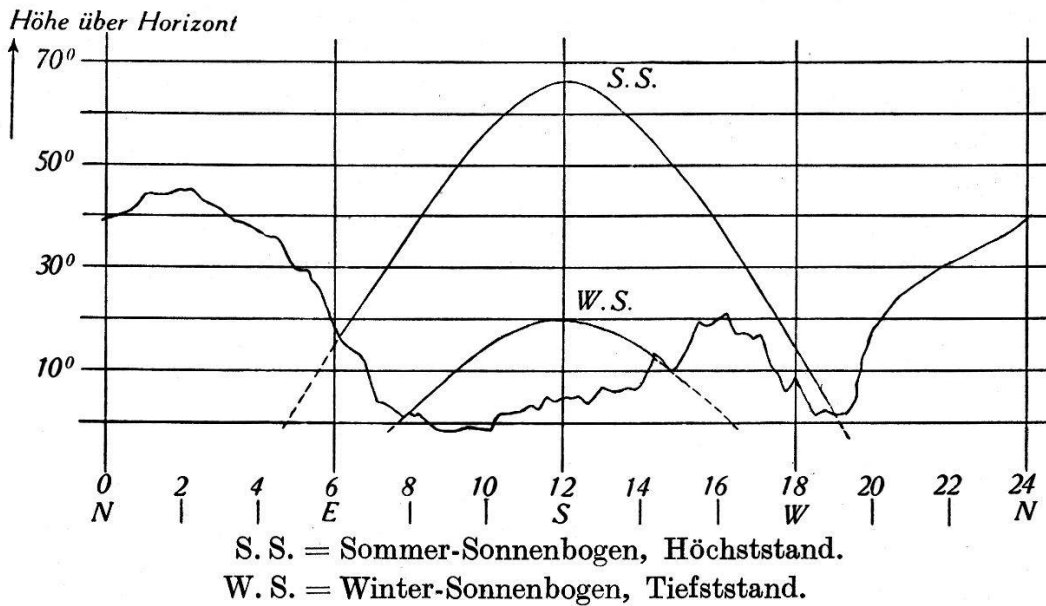


Fig. 2.

Horizontverlauf an der Forschungsstation Jungfrauoch.

bogens in die Dunkelkammer gestattete, bei Beginn der Registrierung wieder zu öffnen. Diese und ähnliche Ausfälle sind durch den Vergleich und gleichzeitigen Gebrauch des ROBITZSCH-Aktinographen ersetzt worden. Ausgewertet wurden beide Registrierungen nach mm-Ausschlag. Verwertet sind hier allein die Angaben des Solarimeters. Die Registrierung erfolgte zwei Stockwerke tiefer, um die Witterungseinflüsse der Terrasse vollkommen auszuschalten. In die Leitung wurden auch ein Ausschalter und ein Blitzschutzwiderstand eingebaut, um Schädigungen durch Blitzwirkung bei Gewitter möglichst zu vermeiden. Die photographische Registrierung erfolgte mittels eines Spiegelgalvanometers. Die gesamte Registriervorrichtung befand sich unter einem schwarzen Kasten zum Schutz gegen das Tageslicht, das frei in den ganzen Registrierraum fiel. Die Markierung der Zeit auf dem Registrierstreifen besorgte ein entsprechend hergerichteter Wecker. Die Auswertung

der Registrierung erfolgte einheitlich so, dass die mittleren Stundenwerte in mm-Ausschlag bestimmt und dieser Ausschlag dann in cal/min cm^2 umgerechnet wurde. Die erforderlichen Eichfaktoren wurden sodann in allgemein üblicher Weise folgendermassen bestimmt:

Eichfaktor.

Bei den normalerweise stündlich angestellten Messungen der direkten Sonnenstrahlung mittels eines MICHELSON'schen Bimetall-Aktinometers wurde die Thermosäule des Solarimeters durch einen kleinen Blechschirm so abgedeckt, dass keine Sonnenstrahlung auf die Thermosäule gelangen konnte. Die so hervorgerufene Verminderung der Einstrahlung entspricht der Wirkung der Sonnenstrahlung auf die Horizontalfläche. Gegen die Bestimmung des Eichfaktors auf diese Weise ist nichts einzuwenden, wenn sich die Bezugstemperatur der Thermosäule, also die Temperatur der passiven Lötstelle, nicht ändert. Dies dürfte bei der allgemein nur 5 Minuten dauernden Abdeckung und der weiteren Bestrahlung des Solarimetergehäuses wohl der Fall sein. Andererseits ist es nach unseren Erfahrungen wahrscheinlich, dass diese Bezugstemperatur ihrerseits nicht ohne Einfluss auf die Empfindlichkeit der Thermosäule ist. Wir kommen später bei der Behandlung der Himmelsstrahlung noch auf diese Frage zurück.

Bei den Bestimmungen des Eichfaktors zeigt es sich, dass dieser in hohem Masse von der Sonnenhöhe abhängig ist. Ob diese Abhängigkeit ein reiner Temperatureinfluss ist, oder ob sie allein eine Abweichung vom Cosinusgesetz darstellt, wie sie bei der Bestrahlung von Flächen unter verschiedenen Winkeln beobachtet wird, ist nicht ermittelt worden.

Auswertung.

Die Zeitmarkierung der Registrierung erfolgte nach Mitteleuropäischer Zeit, ebenso auch die Auswertung der Stundenmittel. Da es aber wünschenswert erscheint, die Stundenwerte gemäss den Angaben der direkten Sonnenstrahlung in wahrer Sonnenzeit zu besitzen, so wurde versucht, diese Auswertung auf eine einfachere Weise als die der nochmaligen Auswertung in wahre Sonnenzeit zu überführen. Zu diesem Zweck haben wir die Stundenwerte der Strahlung von je 10 Tagen zusammengefasst und graphisch in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Nun wurde die Zeitskala der Differenz zwischen wahrer Sonnenzeit und MEZ entsprechend verschoben. Dann wurden aus der Kurve neue Stundenmittel ent-

nommen, und damit die Stundenmittel nach wahrer Sonnenzeit gewonnen. Wir erhielten damit neue Stundenmittelwerte für je 10 Tage. Als Kontrolle wurde die Tatsache verwendet, dass zwischen den Summen bei MEZ und den Summen bei wahrer Sonnenzeit keine wesentliche Differenz auftreten darf; der Flächeninhalt unter der Kurve war ja auch nicht geändert worden. Auf diese Weise sind wir in der Lage, den Gang der Strahlung von 10 zu 10 Tagen festzulegen. Dieser Verlauf ist der Übersichtlichkeit und Anschaulichkeit halber nicht in Tabellenform, sondern in Isoplethendarstellung wiedergegeben und in Fig. 3 dargestellt.

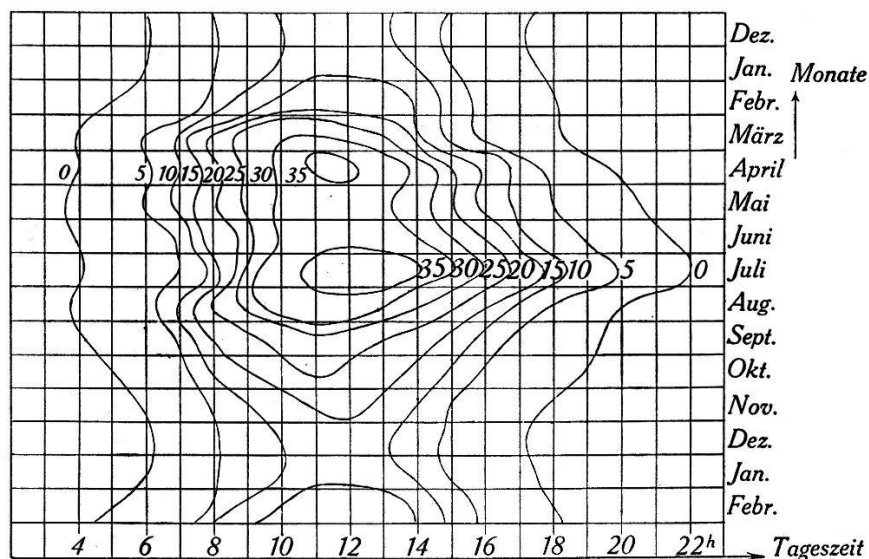


Fig. 3.

Isoplethen der Gesamtstrahlung von Sonne und Himmel auf Horizontalfläche für das Jungfrauoch während des Polarjahres 1932/33.

Einheiten in cal/min cm^2 pro Monat.

Wir finden auf der Abszissenachse die Stunden beginnend mit 2 Uhr wahrer Sonnenzeit, die Ordinatenachse trägt die Einteilung nach Monaten, als Parameter werden die Strahlungswerte pro Stunde und Monat verwendet. Es ist also möglich, aus dieser Darstellung die Strahlung von Sonne und Himmel in cal/min cm^2 auf Horizontalfläche für jeden Monat abzulesen. Die Kurven verbinden Stellen gleicher Zustrahlung. Wir finden in den Wintermonaten die geringste Zustrahlung, und zwar im Dezember, dann steigt die Strahlung besonders im März sehr schnell an und erreicht im April einen Höchstwert, an dem zwischen 11 und 12 Uhr der Horizontalfläche im Mittel über 35 cal/min cm^2 pro Monat oder täglich $1,2 \text{ cal/min cm}^2$ zugestrahlt werden. Im Mai und Juni findet eine wesentliche Herabsetzung der Strahlung statt, um im Juli abermals einen Höchstwert und zwar den Maximalbetrag mit mehr als 38 cal/min cm^2 pro Monat zu erreichen. Gegen den Winter zu

nimmt die Zustrahlung ziemlich gleichmässig ab. Die Darstellung liefert uns also auch gleichsam eine Witterungsübersicht der Beobachtungsperiode, denn die verminderte Zustrahlung ist nur durch die entsprechende Zunahme der Bewölkung erklären. Besonders auffällig ist in den Isoplethen auch der während des ganzen Sommers fast gleichzeitige Beginn der Einstrahlung zwischen 3 und 4 Uhr morgens, während bei Sonnenuntergang in den Abendstunden eine stärkere Verschiebung des Einstrahlungsendes zu sehen ist. Dieser Umstand findet seine Erklärung in dem Horizontverlauf an der Beobachtungsstation (vgl. Fig. 2). Morgens, also im Nordosten, hindert der vorgelagerte Sphinxgipfel

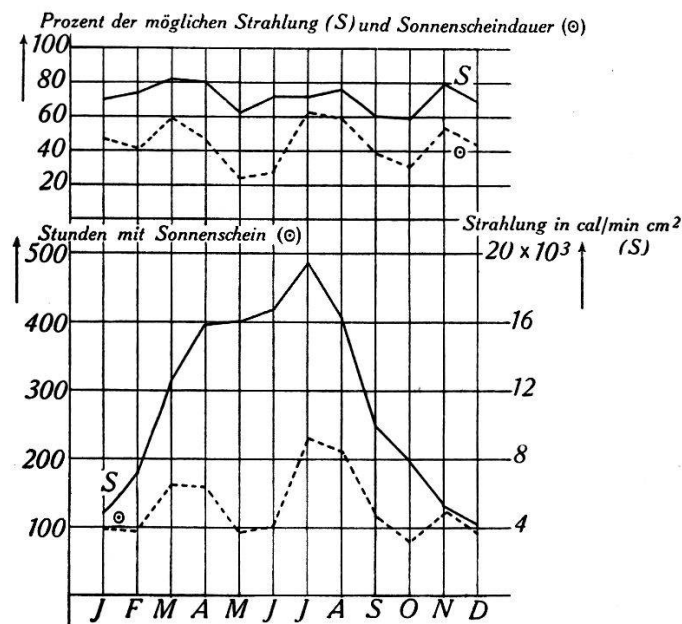


Fig. 4a und 4b.

Parallelität zwischen Sonnenscheindauer und Totalstrahlung.

die Zustrahlung, während im Westen der Horizontverlauf die ungehinderte Einstrahlung zulässt. Deutlich ist auch zu sehen, wie die Witterung im Juli bevorzugend auf die Strahlung gewirkt hat, da eine gleichmässige alle Stunden betreffende Erhöhung der Strahlungswerte zu erkennen ist. Tatsächlich werden die Werte auch durch Beobachtungen der Bewölkung und der Sonnenscheindauer gestützt. Dies sei noch einmal nachgewiesen durch die Fig. 4a und 4b; in ihnen ist die Gegenüberstellung von Sonnenscheindauer und Strahlungssummen gegeben. Der deutlich parallele Gang der beiden Elemente ist am besten in Fig. 4a zu sehen, in der die entsprechenden Prozentzahlen der möglichen Sonnenscheindauer und der möglichen Zustrahlung vereinigt sind.

Mögliche und wahre Wärmesummen.

Interessant ist nun die Frage, wie gross die Zustrahlung von Wärme auf die Horizontalfläche im günstigsten Falle sein kann, und wie gross der Verlust durch Bewölkung zu bemessen ist. Es handelt sich darum, ob die möglichen Wärmesummen, die dem Jungfraujoch zugestrahlt werden können, zu errechnen sind. Wir haben dabei folgenden Weg beschritten. Die Strahlung an solchen Tagen, an denen die Sonnenscheindauer mehr als 90% der möglichen Sonnenscheindauer beträgt, wurde zu einer Kurve zusammengestellt, die symmetrisch zum 22. Juni, dem Sonnenhöchststande, ist. Die Werte nach dem 22. Juni liegen in dieser Kurve somit auf der gleichen Seite wie bis zum 22. Juni, und auf diese Weise erhalten wir eine Verdichtung der Punkte und damit die bessere Möglichkeit, die Kurve zu zeichnen. Die Tagessummen der Einstrahlung sind nun jeweilig in Prozentsen dieser maximal auftretenden Werte zu errechnen. In Tabelle 1 sind die Monatssummen der Zustrah-

Tabelle 1.

Monatssummen der Gesamtstrahlung von Sonne und Himmel auf
Horizontalfläche.

Jungfraujoch	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni
Mögliche Strahlung . .	6740	9160	15040	19170	24380	24820
Wahre Strahlung . . .	4888	7192	12635	15913	16089	16752
Wahre Strahlung in % .	72,5%	78,5%	84%	83%	66%	67,5%
Wahre Strahl. Helsingfors	576	1987	6099	8729	12416	14347
Wahre Strahlung Davos.	4770	8608	14577	15847	16671	18616
Jungfraujoch	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Mögliche Strahlung . .	25000	21630	16650	12890	7960	5700
Wahre Strahlung . . .	19494	16224	9984	7992	5409	4219
Wahre Strahlung in % .	78%	75%	60%	62%	68%	74%
Wahre Strahl. Helsingfors	13934	9435	5597	2590	693	361
Wahre Strahlung Davos.	19832	15847	14037	11118	5730	4376

lung in cal/cm² zusammengestellt. Es sind angegeben die Werte der möglichen Zustrahlung, die der wirklichen Zustrahlung und die Werte der wirklichen Zustrahlung in Prozentsen der möglichen Werte. Zum Vergleich sind hier auch noch die von H. LUNELUND³⁾ 1931 in Helsingfors und die von C. DORNO⁴⁾ 1920/21 in Davos registrierten Monatssummen der Strahlungswerte aufgeführt.

Entsprechend den niedrigeren Sonnenhöhen in Helsingfors

sind schon die Intensitäten der Gesamtstrahlung in den Wintermonaten erheblich geringer; zudem geht in den Wintermonaten in der Niederung der grösste Teil der Strahlung durch die starke Bewölkung verloren. Die in Davos gemessenen Werte sind dagegen den Werten vom Jungfraujoch ziemlich ähnlich, liegen doch auch beide Orte in den Zentralalpen und in annähernd gleicher Breite.

Strahlungsverluste durch Bewölkung.

Totalstrahlung und Hellstrahlung.

Aus den Prozentzahlen der Tabelle 1 können wir entnehmen, dass der Verlust durch Bewölkung doch nicht so gross ist, wie man vielleicht annehmen möchte. Es muss eben berücksichtigt werden, dass die Wolken an sich durch reflektiertes und zerstreutes Sonnenlicht uns ebenfalls Strahlung zusenden. Ein gewisser Anteil an Strahlung wird ausserdem für das Jungfraujoch durch den Schnee dazu kommen, der wegen des Horizontverlaufs als reflektierende Fläche vielfach oberhalb der Solarimeterfläche liegt. Die Trennung der Schneestahlung von der Totalstrahlung ist in Ermangelung eines zweiten gleichwertigen Instrumentes nicht durchgeführt worden.

Wir haben in unseren Untersuchungen versucht, die Strahlungswerte bei Bewölkung nach den verschiedenen Wolkenarten zu unterteilen. Hierbei kann es sich natürlich nur um einen Versuch handeln, da das Material eigentlich einen zu kurzen Zeitraum umfasst. Es sind folgende Wolkenarten unterschieden worden: Hohe Wolken, also Cirren und Cirrostratus, mittlere Wolken wie Altocumuli und Stratocumuli und schliesslich Cumulusbewölkung und verwandte Formen. Eine weitergehende Unterteilung und Unterscheidung der Bewölkung kann bei dem relativ geringen Material nicht vorgenommen werden. Zur Untersuchung dieser Beziehungen von Bewölkung und Einstrahlung haben wir die Bewölkungsmittel pro Tag und die pro Tag zugestrahlte Wärmesumme verwendet. Die Bewölkungsmittel sind aus den Wolkentagebüchern der Beobachtungsstation entnommen; ihnen liegen sechs Beobachtungstermine zugrunde. Ferner sind nur solche Tage berücksichtigt, an denen wirklich eine vorherrschende Wolkenart zu erkennen war. Wir sehen aus den Darstellungen der Fig. 5, dass allgemein bei wenigen Zehnteln hoher Bewölkung (Ci, Cis) keine Abnahme der Totalstrahlung vorhanden ist, werden doch dann blaue Stellen des Himmels durch weisse ersetzt. Die geringe Strahlung des dunkelblauen Hochgebirgshimmels ist natürlich nicht mit der des wolkenlosen Himmels der Niederungen zu vergleichen. Bei

Acu- und Scu-Bewölkung ist bei wenigen Zehnteln Himmelsbedeckung eine klare Antwort nicht zu geben; nach unserer Kurve scheint eine Zunahme der Totalstrahlung nicht stattzufinden. Ebenso scheint bei Cu-Wolken eine Zunahme der Totalstrahlung nur dann vorhanden zu sein, wenn die Wolken der Sonne zugewendet sind und Reflexstrahlung aussenden. Die Verteilung der Punkte ist besonders bei vorherrschender Cu-Bewölkung derartig unregelmässig, dass es schwer fällt, sich auf eine Kurve festzulegen, und somit möchten wir die eingezeichnete Kurve auch nur als eine

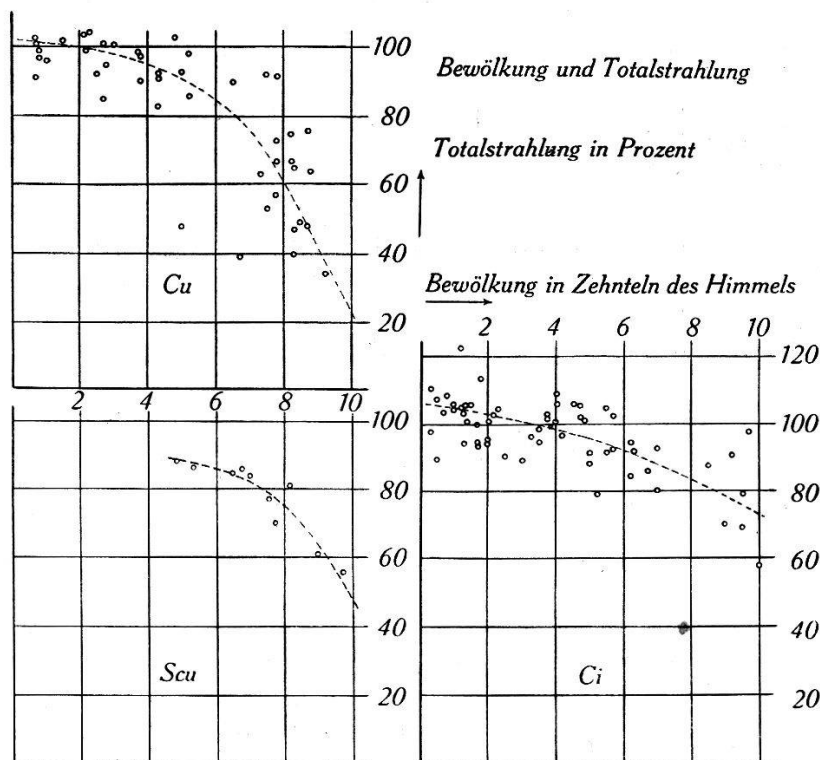


Fig. 5.

Totalstrahlung in Abhängigkeit von der Bewölkung.

Kurve der vorhandenen Tendenz in der vorliegenden Beziehung werten.

Da die Menge an Beobachtungsmaterial bei Cu-Formen weit- aus am grössten ist, so haben wir mit diesem Material eine Unter- suchung der Beziehung zwischen Bewölkung und Totalstrahlung versucht. Wir verwendeten statt des Bewölkungsmittels, das ja nur aus einzelnen Beobachtungen und nicht aus Registrierungen gewonnen wird, die Sonnenscheindauer. Bewölkung und Sonnen- scheindauer stehen ja im umgekehrten Verhältnis zueinander. Trägt man also (vgl. Fig. 6) als Abszisse die Sonnenscheindauer pro Tag ein, wobei die verschiedenen Tageslängen durch die Prozent- berechnung vergleichbar gemacht werden, und als Ordinate die registrierten Strahlungssummen pro Tag, gleichfalls in Prozenten

der bei wolkenlosem Himmel möglichen Werte, so wird sich aus dieser Gegenüberstellung die Beziehung zwischen Einstrahlung und Bewölkung besser herleiten lassen. Bei dieser Darstellung gelingt es schon, die Streuung der Punkte zu vermindern, besser als es bei der Gegenüberstellung von Bewölkungsmitteln und Strahlungssummen in Fig. 5 der Fall war.

Betrachten wir die Registrierung der sichtbaren Strahlung (Hellstrahlung) und suchen ihre Beziehung zur mittleren Bewölkung wie oben bei der Totalstrahlung, so erhalten wir ähnliche Kurven. Auf dem Jungfraujoch wurde zur Registrierung der

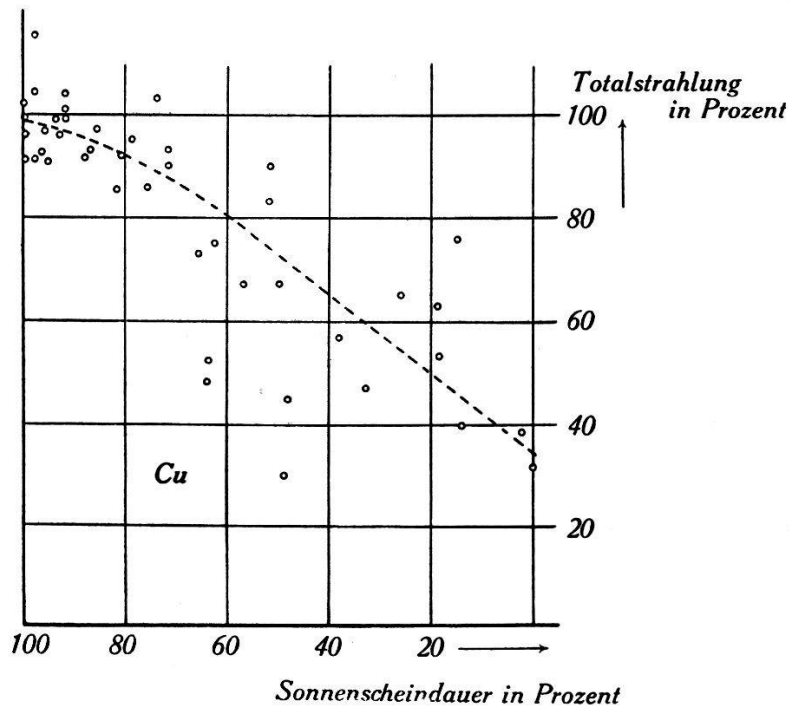


Fig. 6.

Totalstrahlung in Abhängigkeit von Cu-Bewölkung.
(Berücksichtigung der Sonnenscheindauer.)

Helligkeit das Graukeilphotometer nach *Eder-Hecht*⁵⁾ benutzt. An und für sich sind die Registrierungen der Helligkeit nicht direkt mit denen der Totalstrahlung zu vergleichen, da das Photometer keine Energiewerte liefert. Stellt man aber die Prozentzahlen der wirklichen Totalstrahlung (ausgedrückt in Prozenten der möglichen) der prozentualen Sonnenscheindauer gegenüber und entsprechend die Prozentwerte der Helligkeit der prozentualen Sonnenscheindauer, so hat man die Möglichkeit, die Helligkeitsregistrierung als Registrierung der Hellstrahlung (des sichtbaren Spektralbereiches) zu verwerthen. Betrachten wir die Beziehungen zwischen Hellstrahlung und Bewölkung, so erkennen wir schon aus der vermehrten Streuung der Punkte, dass es sich nur um sehr lose Beziehungen handeln kann. Aus Fig. 7 lässt sich jedoch ersehen, dass

eine Vermehrung der Helligkeit bei hoher Bewölkung (C_i , C_{is}) auftritt, wie es auch in Fig. 5 für die Wärmestrahlung zutrifft. Für die anderen Wolkenarten lässt die starke Streuung eine genaue Auswertung nicht zu.

Interessant sind die Verhältnisse bei *Nebel*. Im Mittel beträgt die Schwächung, die die Strahlung durch den Nebel erfährt, für Totalstrahlung etwa 55%, für Hellstrahlung dagegen nur 42%. Betrachtet man jedoch nicht die Mittelwerte, sondern stellt die

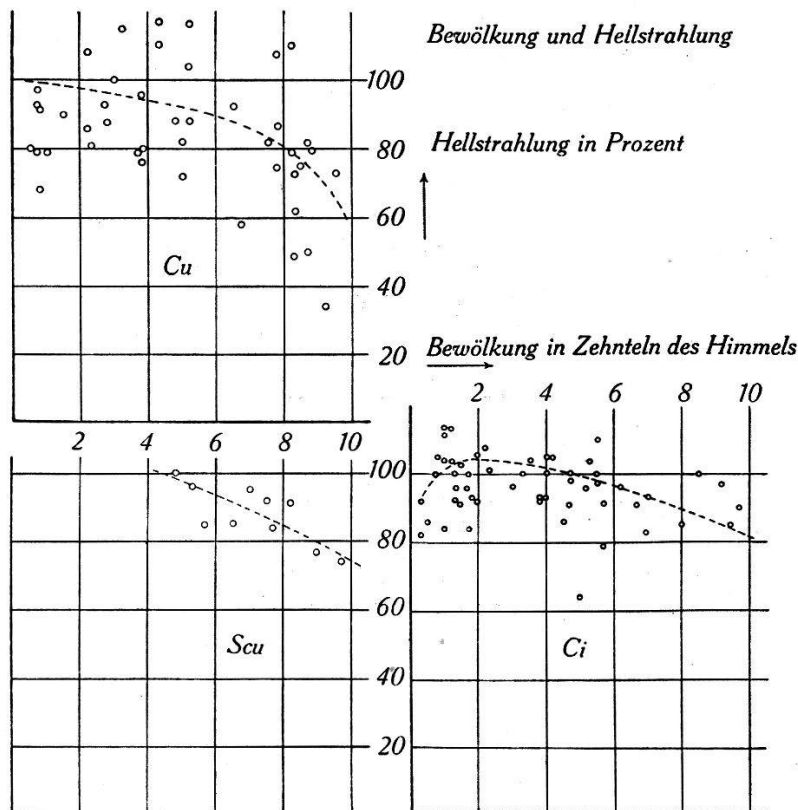


Fig. 7.

Hellstrahlung in Abhängigkeit von der Bewölkung.

Häufigkeitswerte der Schwächung zusammen, so ergibt sich ein wesentlich anderes Bild. In Fig. 8 ist dargestellt, wie oft bei *Nebel* eine Schwächung von bestimmten Prozentwerten aufgetreten ist. Die Abszissenachse trägt die Prozenteinteilung der Strahlungsschwächung für Stufen von 10 zu 10%, die Ordinate gibt die auf jede prozentuale Schwächungsstufe entfallende Anzahl von Fällen in Prozenten aller verwerteten Beobachtungen. Wir ersehen aus Fig. 8, dass für die Schwächung der Wärmestrahlung zwei Häufigkeitsmaxima auftreten, eines zwischen 30 und 40% und ein zweites zwischen 60 und 70%. Denkbar wäre es, dass die vertikale Mächtigkeit des Nebels als Grund für das Auftreten dieser beiden Häufungsstellen etwa in folgendem Sinne anzusehen wäre. Wenn über dem *Nebel* noch weitere Bewölkung liegt, tritt eine Schwächungs-

intensität von 60 bis 70% besonders häufig auf, also eine Schwächung in gleichem Masse, wie sie gemäss Fig. 6 für Cu-bedeckten Himmel gefunden wurde. Bei den sommerlichen Nachmittagsnebeln dagegen, die eigentlich nur eine Cu-Wolke über dem Jungfrauoch darstellen, macht die Schwächung der Strahlung bei fehlender oberer Bewölkung meistens nur 30 bis 40% der Strahlung aus. Bei der Hellstrahlung finden wir nur *ein* deutliches Maximum zwischen 30 und 40%. Das würde bedeuten, dass die Helligkeit bei Nebel im Hochgebirge nicht so sehr von der Mächtigkeit des Nebels oder der Wolkendicke beeinflusst wird. Wahrscheinlich liefert auch die starke Reflexwirkung des Schnees einen weiteren Beitrag zur Helligkeit.

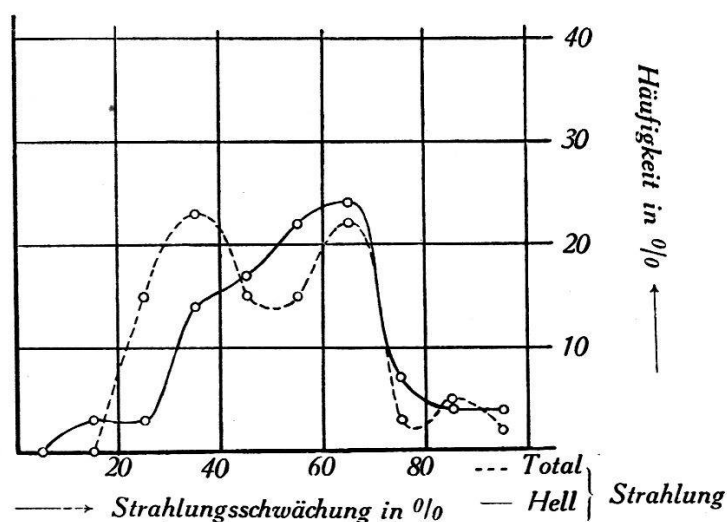


Fig. 8.

Häufigkeitsverteilung der Strahlungsschwächung bei Nebel für Total- und Hellstrahlung.

Wesentlich deutlicher werden diese Beziehungen zwischen Hellstrahlung und Totalstrahlung bei Nebel, wenn man das Verhältnis zwischen beiden Strahlungsarten bildet. Dieses Verhältnis lässt sich auch für die verschiedenen Wolkenarten getrennt untersuchen. Die Ergebnisse haben wir in Fig. 9 dargestellt und ziehen folgende Schlüsse aus ihr. Bei Cu-Bewölkung scheint eine deutliche Bevorzugung der Hellstrahlung gegeben zu sein, wenngleich sie auch nicht sehr gross ist. Eine deutliche Bevorzugung einer Strahlungsart bei Ci- und Cis-Bewölkung ist dagegen nicht zu erkennen. Bei Nebel andererseits sieht man sehr deutlich, wie die Hellstrahlung der Totalstrahlung gegenüber hervortritt. Der allgemeine Schluss aus der Fig. 9 würde dann etwa so lauten müssen, dass die meisten Wolkenformen mit Ausnahme der cirrusartigen die Wärmestrahlung etwas stärker absorbieren als die sichtbare Strahlung.

Himmelsstrahlung.

Um über die Grösse der Himmelsstrahlung allein auf dem Jungfraujoch etwas aussagen zu können, wurde folgender Weg beschritten. Wie anfangs erwähnt, ist der Horizontverlauf an der Beobachtungsstation so, dass ein Teil des Sonnenbogens — zumal im Sommer, aber auch im Winter, und ebenfalls in den Übergangsjahreszeiten — durch die höheren Berge abgedeckt wird. In diesem Falle erhält das Solarimeter nur Himmelsstrahlung und Reflexstrahlung vom Schnee. Wir bestimmten nun an allen wolkenlosen Tagen den Energiebetrag, der während abgedeckter Sonne auf-

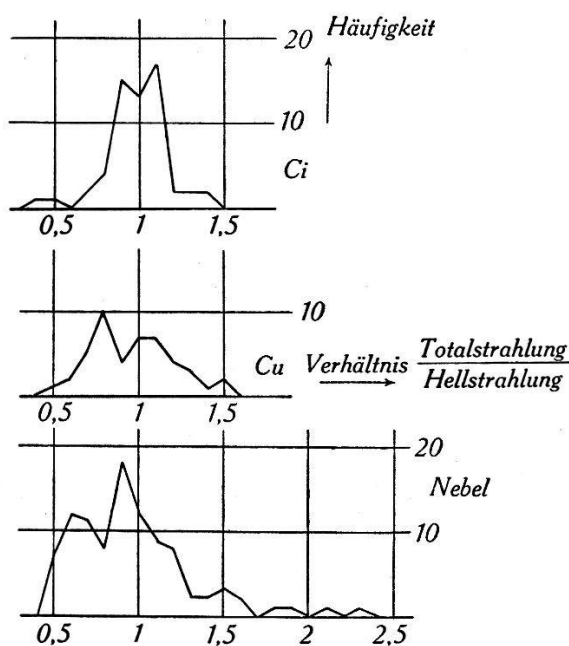


Fig. 9.

Verhältnis zwischen Total- und Hellstrahlung bei verschiedener Wolkenart.

gezeichnet wurde. Infolge der geringen Ausschläge des Galvanometers ist die Auswertungsgenauigkeit natürlich nicht so gross wie bei voller Bestrahlung; die Werte werden also um etwa 10% unsicher. Man sollte erwarten, dass diese Bestimmung der Himmelsstrahlung sich auch dann fortsetzen lässt, wenn die Sonne nicht mehr durch die Berge, sondern den kleinen Blechschirm abgedeckt wird, der bei der Eichung des Instrumentes Verwendung findet. Bestimmt man jedoch so aus den Eichwerten des Solarimeters die Himmelsstrahlung, so ergibt sich merkwürdigerweise eine Abweichung dieser Werte von denen, die bei durch Berge abgedeckter Sonne aufgezeichnet werden. Diese letzteren Werte sind nämlich beträchtlich grösser (etwa 30%) als die bei der Eichung aufgezeichneten Beträge der Himmelsstrahlung. Als Ursache hiefür muss wohl die Verschiedenheit der Bezugstemperatur der Thermosäule angenommen werden.

Stellt man aus den stark streuenden Einzelwerten in der Beziehung zwischen Sonnenhöhe und Himmelsstrahlung durch Mittelbildung über Bereiche von je 10 Grad Sonnenhöhe mittlere Werte der Himmelsstrahlung fest, so erhält man aus der ausgeglichenen Kurve der Fig. 10 die Werte der Tabelle 2.

Tabelle 2.

Himmelsstrahlung in cal/min cm² als Funktion der Sonnenhöhe.

h_s	Jungfrauoch	Davos (Herbst)	Davos (Schnee)
0°	0,017	0,02	—
5°	0,028	0,025	—
10°	0,035	0,030	0,11
20°	0,048	0,050	0,13
30°	0,058	0,070	—
40°	0,067	0,080	—
50°	0,074	—	—
60°	0,082	—	0,18

Zum Vergleich sind die Werte von Davos nach DORNO⁴⁾ mitangeführt. Sie beziehen sich auch auf Tage mit Schneelage, die ja der ewigen Schneelage auf dem Jungfrauoch wegen einzig zum Vergleich herangezogen werden können. Aus den wenigen oben aufgeführten Werten lässt sich erkennen, dass die Himmelsstrahlung einschliesslich der Reflexstrahlung von Schnee in Davos doch mehr als das Doppelte der Himmelsstrahlung auf dem Jungfrauoch ausmacht. Dies erklärt sich zwanglos aus der grösseren Luftreinheit in der Meereshöhe des Jungfrauochs.

Die in Tabelle 2 vereinigten Werte sind für das Jungfrauoch in Fig. 10 zusammengestellt. Wir haben dort in der rechten unteren Ecke auch die Abhängigkeit der Himmelsstrahlung von der Intensität der direkten Sonnenstrahlung veranschaulicht, um auf Grund dieser Beziehungen die Werte der Himmelsstrahlung für wolkenlose Tage errechnen zu können. Benutzt man beispielsweise einen wolkenlosen Tag (11. März 1933) und rechnet sich aus den Werten der Himmelsstrahlung bei verschiedenen Sonnenhöhen den Gesamtbetrag der Himmelsstrahlung für diesen Tag, so darf dieser Wert nicht wesentlich abweichen von dem Ergebnis, welches man in der Registriermesskurve der Totalstrahlung durch Abdecken der Sonne gewinnt, indem man die einzelnen Abdeckungspunkte miteinander zu einer kontinuierlichen Linie der Himmelsstrahlung verbindet. Wir erhalten aus der so gewonnenen Kurve für die Himmelsstrahlungen einen Wert von 5—6% der Gesamtstrahlung dieses

Tages von Sonne und Himmel; bei Berechnung aus den Werten der Himmelsstrahlung bei verschiedenen Sonnenhöhen finden wir dagegen den Betrag von 4%. Allerdings ist in beiden Werten der Schneeanteil enthalten, und durch Vergleich mit den DORNO'schen Werten für Davos lässt sich dieser Anteil auch nicht entfernen. A. ÅNGSTRÖM⁶⁾ schätzt die Intensität der Himmelsstrahlung für Stockholm je nach Stärke der Sonnenstrahlung zu 10—30%

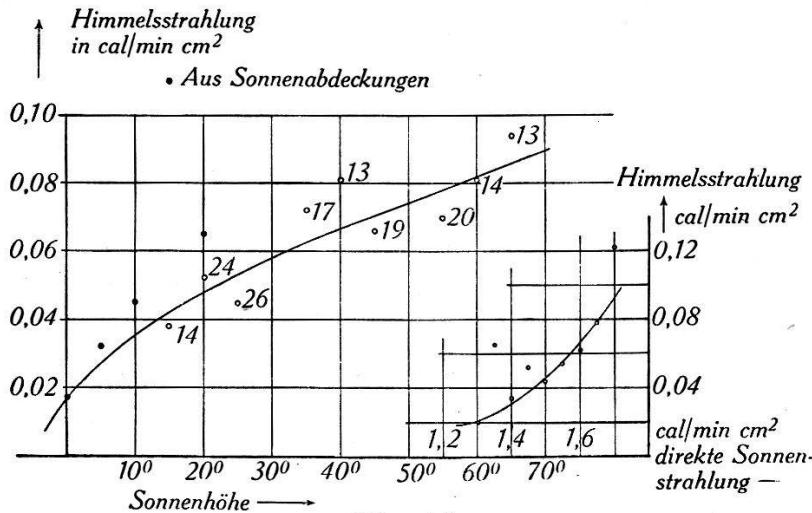


Fig. 10.

Himmelsstrahlung in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe und der direkten Sonnenstrahlung.

der direkten Sonnenstrahlung. Nach den oben angeführten Ergebnissen erhalten wir für das Jungfraujoch etwa 5% der direkten Sonnenstrahlung. Hierbei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Angaben ÅNGSTRÖM's für Stockholm gelten, das im Meeresniveau liegt, also eine geringere Strahlungsdurchlässigkeit der Luft aufweist als die Höhe von 3500 m.

Sonnenscheindauer.

Im Zusammenhang mit diesen Strahlungsmessungen vom Jungfraujoch und den dargelegten Ausführungen ist so oft die Sonnenscheindauer berücksichtigt und zum Vergleich herangezogen worden, dass hier auch über die Registrierung des Sonnenscheins einiges gesagt werden soll.

Benutzt wurde zur Registrierung ein Sonnenscheinautograph nach Campbell-Stokes; doch wurde kurz nach Inbetriebnahme der Station die weisse Kugel durch eine aus rotem Glas ersetzt. Lieferant dieser Kugel war die Firma Fuess in Berlin-Steglitz. W. MARTEN⁷⁾ hat schon 1931 auf die vielfachen Vorzüge einer Kugel aus rotem Glas hingewiesen. Es soll auch hier betont werden, dass die Erfahrungen mit der roten Glaskugel durchaus günstige sind und

dass z. B. durch Wärmeabsorption der Kugel sie sich selbsttätig von leichtem Reif und Rauheis zu befreien vermag, was an Stationen mit nicht ständig gegenwärtigem Beobachter sicherlich von grossem Nutzen sein kann. Auch fanden wir, dass die Auswertgenauigkeit grösser ist, da die Breite der Brennsur einer roten Kugel nach unseren Erfahrungen etwa die Hälfte von der einer weissen Kugel beträgt. Dies spielt bei den grossen Intensitäten der Sonnenstrahlung im Hochgebirge eine ganz wesentliche Rolle.

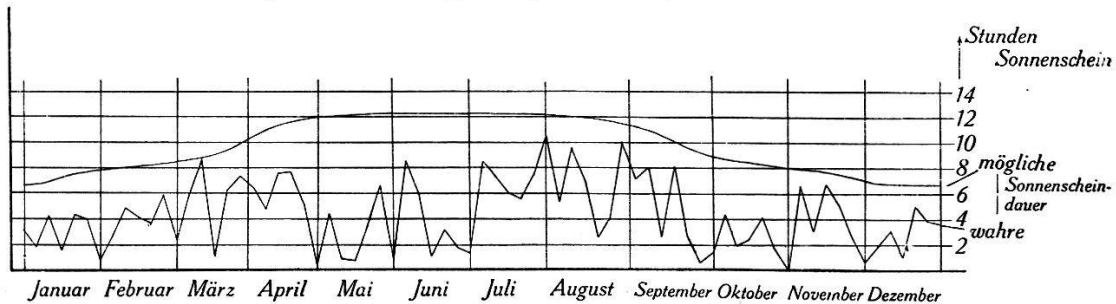


Fig. 11.

Mögliche und wahre Sonnenscheindauer in Pentadenmitteln.

An Stelle einer Tabelle der wahren und der möglichen Sonnenscheindauer geben wir in Fig. 11 die Kurven der möglichen und der wahren Sonnenscheindauer im Verlauf des Polarjahres in Pentadenmitteln wieder. Die Kurve der wirklichen Sonnenscheindauer stellt ein vorzügliches Charakteristikum der Witterung in der Berichtsperiode dar, kann jedoch nicht klimatologische Bedeutung beanspruchen.

Zum Schluss sei hier dem Präsidenten der Hochalpinen Forschungsstation Jungfrauoch, Herrn Prof. Dr. W. R. HESS, und dem Vorsteher des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos, Herrn Dr. W. MÖRIKOFER, der Dank des Verfassers ausgesprochen. Durch die Bemühungen der beiden Herren wurde die Durchführung dieser Untersuchungen über die Sonnen- und Himmelsstrahlung auf dem Jungfrauoch ermöglicht.

Literatur.

- 1) L. GORCZYNSKI, Met. Ztschr. **44**, 5, 1927; Met. Magaz. **71**, 1, 1936.
- 2) M. ROBITZSCH, Gerl. Beitr. Geophys. **35**, 387, 1932; W. MÖRIKOFER und CHR. THAMS, Met. Ztschr. **54**, 360, 1937.
- 3) H. LUNELUND, Soc. Scient. Fenn. Comment. Phys. Math. VII, Nr. 5, 1933.
- 4) C. DORNO, Met. Ztschr. **39**, 311, 1922.
- 5) C. DORNO, Met. Ztschr. **42**, 81, 1925; Met. Ztschr. **44**, 369, 1927; W. HECHT und W. MÖRIKOFER, Met. Ztschr. **56**, 142, 186, 1939.
- 6) A. ÅNGSTRÖM, Bioklim. Beibl. Met. Ztschr. **1**, 6, 1934.
- 7) W. MARTEN, Met. Ztschr. **48**, 504, 1931.